

Valorisation de la pomme de cajou (*Anacardium occidentale*) et impact de la concentration sous vide à différentes températures sur la qualité du jus

[Valorization of cashew apple (*Anacardium occidentale*) and impact of vacuum evaporation at different temperatures in the juice quality]

Doudjo SORO¹, Cissé MOCTAR¹, Youssouf Kisselmina KONE¹, Emmanuel Nogbou ASSIDJO¹, Benjamin Kouassi YAO¹,
and Manuel DORNIER²

¹UMRI Sciences des Procédés Alimentaires, chimiques et Environnementaux,
Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB),
BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²UMR 95 Qualisud, CIRAD, Montpellier-SupAgro, TA B-95/16, 73, rue Jean François Breton,
34 398 Montpellier cedex 5, France

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Cashew apple, was a false fruit of cashew tree. It was not valorized because of its astringency. In the purpose of valorization of this fruit in juice, this study showed the impact of coupling of crossflow microfiltration and vacuum concentration on the juice quality. Crossflow microfiltration tests were carried out on the raw cashew apple juice followed by its concentration by vacuum concentration at different temperatures (40, 60 and 80 ° C). Different juices (clarified and concentrated) obtained were characterized and compared to the raw one. The results showed that the crossflow microfiltration eliminated tannins and therefore astringency. It was not affected the nutritional value of the juice. Concerning the vacuum evaporation, it was not influenced on titrable acidity, whatever the temperature. However, it affected the vitamin C content, color and flavor profile of the juice. This process increased losses of vitamin C depending the temperature. Regarding color, we noted that, juices concentrated has a high absorbance between 400 and 480 nm. More the temperature of vacuum evaporation was high more the absorbance was important. Finally, the flavor profile of concentrated juice obtained by vacuum evaporation was modified from the clarified juice obtained by crossflow microfiltration.

KEYWORDS: *Anacardium occidentale*, vacuum concentration, vitamin C, aromatic profile, color.

RESUME: La pomme de cajou, faux fruit de l'anacardier n'est pas valorisée à cause de son astringence. Dans le but de la valorisation de ce fruit en jus, cette étude présente l'impact du couplage de la microfiltration tangentielle et la concentration sous vide sur la qualité du jus. Des essais de microfiltration ont été réalisés sur le jus brut de pomme de cajou suivie de sa concentration sous vide à différentes températures (40, 60 et 80°C). Les différents jus (clarifié et concentrés) obtenus sont caractérisés et comparés au jus brut. Les résultats montrent que la microfiltration tangentielle permet d'éliminer les tanins et par conséquent l'astringence sans affecter la valeur nutritionnelle du jus. Concernant la concentration par évaporation sous vide, elle n'a pas d'influence sur l'acidité titrable, quelle que soit la température. Cependant, elle influe sur la teneur en vitamine C, la couleur et le profil aromatique du jus. Ce procédé induit des pertes croissantes de vitamine C en fonction de la température utilisée. Concernant la couleur, nos notons que les jus concentrés présentent une absorbance élevée entre 400 et 480 nm. Plus la température d'évaporation est élevée plus l'absorbance est importante. Enfin, le profil aromatique du jus concentré par évaporation sous vide est plus modifié par rapport au jus clarifié par microfiltration.

MOTS-CLEFS: *Anacardium occidentale*, concentration sous vide, vitamine C, profil aromatique, couleur.

1 INTRODUCTION

En 2015, la Côte d'Ivoire a produit 720 000 t de noix de cajou avec une prévision de 750 000 t en 2016 [1]. La pomme de cajou représentant 9 à 10 fois le poids de la noix, cela correspond à plus de 6 millions de tonnes de pommes de cajou. La quasi-totalité de cette production est perdue sur les lieux de récolte car elle n'est pas exploitée industriellement en Côte d'Ivoire à cause de son astringence et de certains tabous [2]. En effet, la consommation de pomme de cajou avec du lait est considérée comme incompatible dans ce pays et dans plusieurs pays africains [2]. Cette matière première présente pourtant un fort potentiel nutritionnel ([3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]) (tableau 1) : elle est très riche en vitamine C [3], en composés polyphénoliques ([4], [5]) et présente un profil caroténoïdique très diversifié ([6],[7]). Le développement de procédés de transformation respectueux de la qualité nutritionnelle de la matière première représente un enjeu important pour valoriser ce fruit [2].

Tableau 1. Valeur nutritionnelle du jus et des tourteaux de pomme de cajou

Composition	Valeur	Références
Jus de pomme de cajou		
Extrait sec soluble (% m/v)	7,4-14,5	([3], [4])
Sucres réducteurs (% m/v)	9,04-10,4	([3], [5])
Glucose (% m/v)	3,85-4,63	([5], [6])
Fructose (% m/v)	3,90-4,52	([5], [6])
Sucrose (% m/v)	0,042-0,051	[6]
Acidité titrable (% acide malique)	0,29-1,1	[7]
Acide malique (% m/v)	0,4	[8]
Acide citrique (% m/v)	0,42-0,64	[6]
Acide Ascorbique (% m/v)	104-293,5	([3], [6])
pH	3,5-4,6	([6], [10])
Tannins totaux (mg/100 g)	0,6	[8]
Tannins condensés (mg/100 g)	0,2	[8]
Carotène (mg/100 g)	0,03-0,74	[8]
Tourteaux de pomme de cajou		
Cellulose (%)	19,21-24,3	([11], [12])
Hémicellulose (%)	12,05-12,5	([11], [12])
Lignine (%)	22,5-38,11	([11], [12])
Protéine (%)	14,2	[11]
Carbohydrate non fibreux (%)	11,3	[11]

Comme pour de nombreux fruits, la principale voie de valorisation qu'il est pertinent d'envisager est la transformation en jus. Cependant, dans le cas de la pomme de cajou, cette transformation se heurte à trois principaux problèmes : l'astringence du jus liée à la présence de tannins condensés, la grande thermosensibilité du produit aussi bien en terme nutritionnel que sensoriel et la richesse en sucre réducteurs responsables des réactions de Maillard lors des traitements thermiques. Les procédés à utiliser doivent donc être développés en intégrant ces contraintes spécifiques liées au produit [2]. L'un des procédés qui permet d'éliminer l'astringence et de stabiliser les jus à basses températures est la microfiltration tangentielle.

La microfiltration tangentielle en effet, permet d'obtenir des jus clarifiés à partir des jus pulpeux. Elle est utilisée de plus en plus comme un procédé de stabilisation à froid des jus de fruits et permet de préserver les qualités nutritionnelles et organoleptiques du produit ([13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]). Les jus clarifiés par ces procédés peuvent être utilisés comme ingrédients naturellement riches en vitamine C pour la formulation d'autres jus de fruit ou boissons rafraîchissantes sans alcool.

Concernant les opérations de concentration sous vide appelées aussi concentrations thermiques, elles revêtent une importance particulière dans les industries de jus de fruit. La saisonnalité de la production des fruits et l'éloignement fréquent des zones de production et de consommation imposent de longues périodes de stockage et de transport des produits finis. Dans le cas spécifique de la pomme de cajou, elle est disponible en Côte d'Ivoire de mi-février à fin juin ([1], [2]). L'élimination d'une partie de l'eau contenue dans les jus de fruits permet de diminuer leur volume et ainsi de limiter significativement les coûts liés au stockage et au transport. Associé à cet intérêt économique, la concentration des jus de

fruits contribue également à améliorer leur stabilité en diminuant notamment l'activité de l'eau et le pH ([20], [21], [22], [23], [24], [25]).

Vu toutes ces contraintes, cette étude a pour objectif d'éliminer l'astringence du jus de pomme de cajou par l'utilisation de la microfiltration tangentielle qui a l'avantage de se réaliser à basses températures et évaluer l'impact de la concentration sous vide à différente température sur la qualité du jus.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL BIOLOGIQUE ET PROCEDE D'OBTENTION DU JUS BRUT

Les pommes de cajou analysées proviennent de Yamoussoukro, capitale politique de la Côte d'Ivoire, région des lacs, située entre la zone forestière et la zone savanicole. Elles ont été toutes récoltées sur les arbres. Les noix ont été séparées minutieusement des pommes afin d'éviter de les blesser. Ces pommes sont constituées de pommes rouges et jaunes (figure 1).



Fig. 1. Les différentes variétés de pommes de cajou récoltées en Côte d'Ivoire

Elles sont transportées dans des bacs à l'usine école pour être transformées. Nettoyées, lavées elles sont désinfectées pendant 30 min avec 100 ppm de chlore actif. Elles sont ensuite rincées avec de l'eau avant d'être broyées. Le broyage est réalisé avec une presse à vis sans fin dont la référence est ZBK220077-88 LW74d(B) A (Chine). Cette presse a une puissance de 4,4 kW avec une vitesse de rotation de la vis de 1 440 tours.min⁻¹. Le jus pressé est stocké dans une chambre froide à -20°C pour les procédés ultérieurs et pour la caractérisation.

2.2 PRODUCTION DU JUS DE POMME DE CAJOU CONCENTRE

Pour la production du jus de pomme de cajou concentré, deux procédés ont été utilisés. D'abord la clarification par microfiltration tangentielle, qui permet d'éliminer les tannins. Ensuite la concentration sous vide à différentes température (40, 60 et 80°C) qui est un procédé de concentration thermique utilisé dans la plupart des unités de production industrielles de jus de fruit.

Concernant la clarification du jus de pomme de cajou, un pilote semi industriel de marque TIA (Techniques Industrielles Appliquées) avec une capacité de 60 L et un volume mort de 15 L a été utilisé (figure 2). Cette installation est connectée à une pompe d'alimentation qui permet la mise sous pression du circuit rétentat et une pompe de circulation qui permet la circulation tangentielle du produit. L'échangeur de chaleur inséré dans le circuit est alimenté par l'eau du réseau. Il permet de réguler la température du produit à l'intérieur de l'appareil. Le type de membrane contenue dans ce pilote est une membrane céramique à profilé multicanal de 19 canaux de diamètre 4 mm. Le diamètre de pore est de 0,2 µm et la surface filtrante est de 0,24 m². Elle est commercialisée sous la dénomination MEMBRALOX 1P19-40 (PALL-EXEKIA, Bazet, France). Pour le protocole proprement dit, il se fait en deux étapes. La concentration à volume constant où le perméat est continuellement retiré et remplacé par la même quantité de jus frais jusqu'à épuisement de celui-ci. Ensuite, la concentration à volume variable où le perméat continue d'être retiré jusqu'à la fin de l'essai. Durant tout l'essai, la vitesse et la température

tangentielles ont été fixées respectivement à 6 m.s^{-1} et 35°C . Quant à la pression transmembranaire elle a été maintenue à 1,4 bar. Le jus clarifié (JC) appelé aussi jus microfiltré est caractérisé et comparé au jus brut (JB).

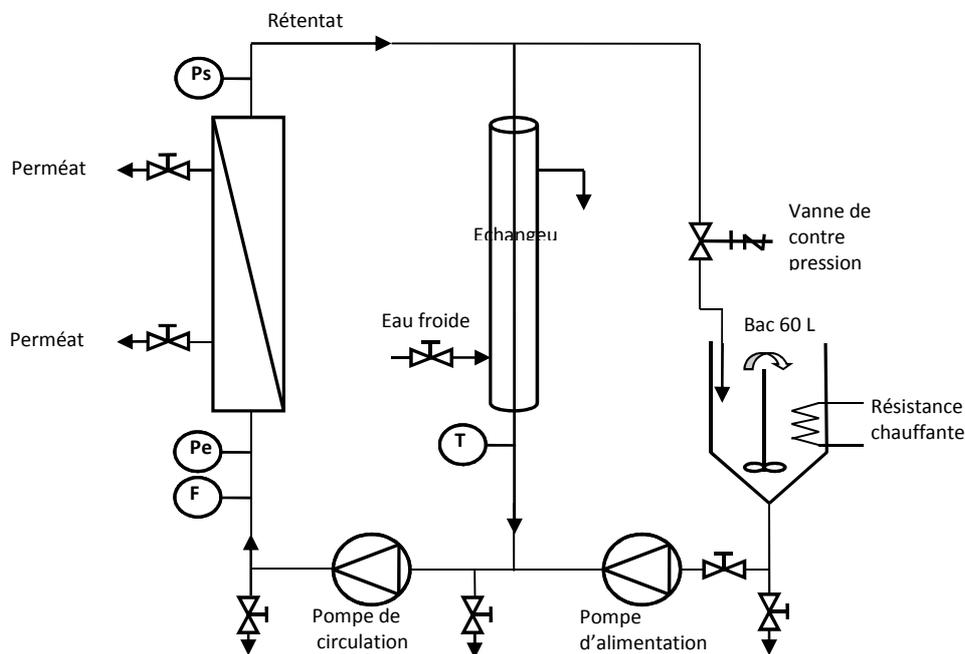


Fig. 2. Schéma du pilote semi-industriel de microfiltration tangentielle [26]

Pour l'évaporation sous vide, une boule de concentration AURIOL d'une capacité de 4 litres a été utilisée (Figure 3). Cet évaporateur est muni d'une pompe à anneau liquide qui permet de faire le vide. La température de chauffage est régulée grâce à une double enveloppe située autour de la cuve de l'évaporateur. Concernant les expériences d'évaporation sous vide, trois essais ont été réalisés à différentes températures ($40, 60$ et 80°C) correspondant respectivement aux pressions de ($0,1 ; 0,2$ et $0,47$ bar) pour atteindre un extrait sec soluble (ESS) de $60 \text{ g.100}^{-1}\text{g}$. Le protocole consiste à mettre dans la cuve de l'évaporateur $2\,000 \text{ mL}$ de jus de pomme de cajou clarifié par microfiltration tangentielle. La température désirée est fixée en jouant sur la pression. L'essai est arrêté quand l'ESS souhaité est atteint. Les différents jus concentrés obtenus sont analysés et comparés au jus clarifié (JC) et au jus brut (JB).



Fig. 3. Boule de concentration sous vide de marque AURIOL

2.3 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOCHIMIQUES

Afin d'évaluer l'impact de chaque procédé sur la qualité du jus, des analyses physico-chimiques et biochimiques ont été réalisés avant et après chaque procédé. Ces analyses concernent, le pH, l'acidité titrable, les tannins totaux, la teneur en vitamine C, la couleur, l'extrait sec soluble et le profil aromatique.

2.3.1 METHODES PHYSICO-CHIMIQUES

Les méthodes des analyses physico-chimiques sont résumées dans le tableau 2.

Tableau 2. Méthodes d'analyses physico-chimiques effectuées sur le jus de pomme de cajou

Analyses	Notation	Unité	Méthode	Matériel	Précision
pH	pH	Unité pH	pH métrie	pH mètre (ORION modèle 601 A) avec correction de température	0,05 unité pH
Acidité titrable	AT	meq.L ⁻¹	Tritimétrie (NF V05-101)	NaOH 0,1N avec phénophtaléine comme indicateur coloré	
Extrait sec soluble	ESS	g.100g ⁻¹	Réfractométrie (NF V05-109)	Réfractomètre type Abbe ATAGO avec lecteur digital et correction de température	0,2 g.100g ⁻¹
Couleur	Absorbance	DO	Spectrophotométrie	Spectrophotomètre dans le visible entre 400 et 680 nm	

2.3.2 METHODES BIOCHIMIQUES

La teneur en acide ascorbique est mesurée par la méthode de titration au 2,6-dichlorophénol-indophénol (2,6-DCPIP). Cette méthode consiste en une réduction du 2,6-DCPIP et en une oxydation de l'acide ascorbique en acide déhydroascorbique. Elle permet donc une détermination de la teneur en vitamine C sous sa forme réduite (acide ascorbique). Une fois que l'oxydation de l'acide ascorbique est terminée, le 2,6-DCPIP sert d'indicateur coloré et sa présence en solution donne une couleur rose caractéristique (AOAC, 1984). Pour la préparation de la solution d'acide métaphosphorique / acide acétique, 30 g d'HPO₃ solide sont dissouts dans 80 ml d'acide acétique et 240 mL d'eau distillée. Le volume est ensuite porté à 1 000 mL par ajout d'eau distillée. Comme l'acide métaphosphorique se transforme lentement en H₃PO₄, la solution obtenue est conservée une semaine au maximum dans un réfrigérateur à 4°C. Concernant la solution de 2,6 DCPIP, 250 mg de sel de 2,6 DCPIP sodium sont dissouts dans 250 mL d'eau distillée contenant 210 mg de carbonate de sodium (NaHCO₃) puis sont mélangés vigoureusement. Le volume est ensuite porté à 1 000 mL par ajout d'eau distillée, puis filtré avant d'être conservé au réfrigérateur à 4°C. Quant à la solution standard d'acide ascorbique, 50 mg d'acide ascorbique sont pesés avec précision et dilués avec de la solution acide métaphosphorique/acide acétique dans une fiole jaugée de 50 mL protégée de la lumière. Pour le dosage, 2 mL de solution standard sont dosés avec le 2,6-DCPIP de même que 2 mL de l'échantillon.

Pour le dosage des tannins totaux, le protocole décrit par Michodjehoun-Mestres *et al.* 2009 [10] a été utilisé. Ce protocole consiste dans un premier temps à éliminer les caroténoïdes et une partie des phénols simples. Pour cela, 20 g de jus sont additionnés à 50 mL d'acétate d'éthyle puis agités pendant 15 min. Le mélange est ensuite centrifugé à 3 000 g pendant 15 min à 20°C. Le culot est récupéré dans 150 mL de mélange acétone : eau (60 :40), agité durant 60 min et centrifugé à 3 000 g pendant 15 min à 20°C. Cette opération est répétée 3 fois. Le dernier culot est récupéré dans 40 mL d'eau et additionné avec 10 mL de solution saturée de caféine. Ce mélange entraîne une floculation des tannins qui ont ensuite centrifugé à 3 000 g pendant 15 min à 20°C. Le culot est dispersé dans 20 mL de méthanol chaud additionné à 60 mL de chloroforme. Cela entraîne une floculation abondante des tannins et une décomplexation de la caféine par solubilisation dans le chloroforme. Après centrifugation à 3 000 g pendant 15 min à 20°C, et élimination du surnageant, l'opération de lavage du culot au chloroforme est répétée 4 fois. Le dernier culot (tannins bruts) est séché sur fritté n° 4 à 70°C pendant 4 heures.

Concernant la détermination du profil aromatique, la détermination des composés volatils par micro-extraction sur phase solide (SPME) a été utilisée. Elle a l'avantage de ne pas utiliser de solvant organique et ne nécessite qu'un très faible volume d'échantillon. Elle se décompose en deux étapes. La première étape, l'extraction, consiste en un équilibre de partage entre une phase solide (fibre recouverte d'un revêtement polymère) et une phase gazeuse ou liquide. Une fois les solutés adsorbés, ils sont alors désorbés thermiquement, directement dans l'injecteur du chromatographe. La deuxième étape est

l'analyse des composés d'arôme dans le chromatographe. Ce système permet une analyse à la fois qualitative et quantitative. Pour la préparation des échantillons et l'extraction, dans un tube de 10 mL, nous introduisons 4 mL de jus de pomme de cajou. Afin de réaliser une quantification des composés extraits, nous rajoutons 1 mL d'hexanol dilué à 1/1000 comme étalon interne. La fibre utilisée est une fibre SPME en polydiméthylsiloxane-divinylbenzène (PDMS-DVB, 65 µm). Avant la première utilisation, la fibre est pré-conditionnée à la température de 250°C pendant 30 min afin d'éliminer les éventuelles impuretés qui auraient pu s'y adsorber. Les différents paramètres d'analyse que sont le temps et la température d'extraction et de désorption, la vitesse d'agitation ont été préalablement optimisés. Une fois le paramétrage effectué, l'échantillon est incubé dans un four sous agitation à 250 tours.min⁻¹ pendant 30 min avant que la fibre ne vienne percer le septum et adsorber les composés présents dans l'espace de tête. Une fois l'extraction terminée, les composés sont désorbés de la fibre dans un injecteur chauffé à 250°C et analysés par GC-MS. L'analyse des composés d'arômes contenus dans les jus de pomme de cajou a été réalisée à l'aide d'un chromatographe de type Agilent 6890N en mode injection automatique sur une colonne polaire capillaire DBWAX J&W 122-7032 de 30 m de long, 0,25 mm de diamètre interne et de 0,25 µm d'épaisseur de film (Agilent Technologies, Palo Alto, USA). Le gaz vecteur utilisé est de l'hélium à un débit de 1 mL.min⁻¹. La température de l'injecteur est de 250°C. Deux µL de chaque échantillon ont été injectés avec la programmation suivante : une augmentation de la température de 3°C.min⁻¹ de 40 à 170°C suivi d'une autre augmentation de 10 °C.min⁻¹ de 170 à 240°C. Le chromatographe est couplé à un spectromètre de masse Agilent 5973 Network fonctionnant en mode impact électronique avec source d'ionisation interne de 70 eV. L'analyseur est de type quadripôle (T = 150 °C), et la température de la source est de 230 °C. L'analyse des fragments a été réalisée en mode scan de 40 à 400 uma à raison de 4,58 uma.s⁻¹ et ne débute que 5 min après l'injection de notre échantillon. Les composés ont été identifiés par comparaison avec les bases de données des spectres de composés connus Wiley275 ou NIST (version 2002). De plus, l'identité des composés a été confirmée par le calcul des indices de rétention linéaire ou indices de Kovats (IK) et leur comparaison avec ceux trouvés dans la littérature. Ces indices de rétention linéaire ont été calculés après analyse, dans les mêmes conditions de chromatographie, de la série des n-alcanes C₈-C₂₀ (Supelco, Bellefonte, USA) (équation 1).

$$IK = (100n) + 100 \frac{(Tr_i - Tr_n)}{(Tr_{n-1} - Tr_n)} \quad \text{(Équation 1)}$$

avec, Tr_i, temps de rétention du composé d'arôme i, Tr_n temps de rétention de l'alcane à n carbones, et Tr_{n-1}, temps de rétention de l'alcane suivant.

Pour comparer l'effet des différents procédés (clarification, osmose inverse, évaporation osmotique et évaporation sous vide) sur les composés d'arôme extraits présents dans les jus de pomme de cajou, nous avons utilisé la méthode de l'étalon interne. En connaissant la quantité d'étalon interne rajoutée à nos échantillons et sachant l'aire que cette masse représente, il est possible à partir des aires des pics des composés, d'accéder à leur masse dans l'échantillon par l'équation 2.

$$\frac{Ci}{Ce} = \frac{Ai}{Ae} * \frac{Ki}{Ke} \quad \text{(Équation 2)}$$

Avec, mi et me correspondant respectivement aux masses du constituant i et de l'étalon interne, Ai et Ae les aires de pic du constituant i et de l'étalon interne et Ki et Ke les coefficients de réponse du composé d'arôme i et de l'étalon interne. Dans notre cas pour simplifier les calculs, nous avons considéré que Ki = Ke.

Pour mieux évaluer l'effet du processus de concentration sur le produit initial, nous avons déterminé la distance aromatique (DA) entre le produit final et le produit initial dans un espace aromatique à n dimensions en utilisant l'équation 3.

$$DA = \sqrt{\sum_{i=1}^n (A_1 - A_2)^2} \quad \text{(Équation 3)}$$

avec A₁ et A₂ représentant les aires du composé d'arôme i respectivement avant et après concentration.

2.4 ANALYSE STATISTIQUE

Toutes les mesures des paramètres physico-chimiques et biochimiques ont été effectuées en triple et les données ont été sujettes à une analyse de variance. Le test de Duncan a été utilisé pour classer les moyennes au cas où il existerait une différence significative. Toutes ces analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS 17.0. La signification statistique a été définie à 0,05.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des analyses physico-chimiques sont résumés dans le tableau 3.

Tableau 3. Effet des différents procédés sur la qualité du jus de pomme de cajou

	ESS (g.kg ⁻¹)	pH	Acidité titrable (g d'acide malique.kg ESS ⁻¹)	Tanins totaux (g.kg ⁻¹)	Vitamine C (g.kg ESS ⁻¹)
Jus brut (JB)	100 (1) ^a	4,03 (0,22) ^b	20,8 (0,2) ^c	2,41 (0,07) ^d	15,00 (0,49) ^f
Jus Clarifié (JC)	100 (1) ^a	4,05 (0,12) ^b	21,1 (0,3) ^c	0 ^e	14,14 (0,49) ^f
Jus concentré par EV à 40	649 (2)	4,21 (0,22) ^b	20,7 (0,3) ^c	0 ^e	12,37 (0,24) ^g
Jus concentré par EV à 60	618 (2)	4,19 (0,13) ^b	20,5 (0,5) ^c	0 ^e	12,06 (0,32) ^{gh}
Jus concentré par EV à 80	586 (2)	4,22 (0,20) ^b	20,4 (0,3) ^c	0 ^e	11,23 (0,26) ^h

Les résultats du tableau 3 montrent que la microfiltration tangentielle permet de retenir tous les tannins. La forte rétention des tannins diminue l'astringence du jus sans affecter la valeur nutritionnelle. Concernant l'extrait sec soluble, le pH, l'acidité titrable et la teneur en vitamine C, il n'y a pas de différence significative entre ces grandeurs avant et après clarification. Cependant une perte de 5,7% de la vitamine C est observée. Cette perte pourrait être due aux conditions de réalisation de l'essai de la microfiltration tangentielle. En effet, lors de l'essai, aucune précaution particulière n'a été prise contre l'oxydation du jus. L'appareil est rempli au départ avec 60 L de jus brut, puis toutes les 10 min le bac d'alimentation est ouvert afin d'ajouter la quantité de jus correspondante au jus clarifié recueilli. De l'air est ainsi régulièrement entraîné dans le bac d'alimentation qui peut alors oxyder la vitamine C.

L'évaporation sous vide, permet de concentrer jusqu'à 6 fois le jus de pomme de cajou avec une rétention totale de l'extrait sec soluble et par conséquent de l'acidité totale. Elle n'a donc pas d'influence sur l'acidité, quelle que soit la température. Cependant, elle influe sur la teneur en vitamine C. Ce procédé induit des pertes croissantes en fonction de la température utilisée. Les pertes sont respectivement de 13 ; 15 et 21% à 40, 60 et 80°C. La qualité vitaminique du produit est donc affectée.

Concernant les résultats du profil aromatique, seuls ont été pris en compte les composés d'arôme qui ont présenté des aires de pic répétables c'est à dire avec des coefficients de variation inférieurs à 10%. A l'analyse des données du tableau 4, nous constatons que l'étape de la clarification modifie le profil aromatique du jus (distance aromatique de 121). Compte tenu de la température de traitement utilisé (35°C), une perte par volatilisation est peu probable. Certains composés d'arôme pourraient être retenus par la membrane car associés à la fraction insoluble (adsorption). Toutefois cette valeur est plus faible comparée à celles obtenues par évaporation sous vide (457 à 460 en fonction de la température). Cela nous permet de conclure que le procédé d'évaporation sous vide quelle que soit la température a une influence sur le profil aromatique. Il est altéré comparé au jus non concentré (JC).

Tableau 4. Comparaison des différentes teneurs en $\mu\text{g.L}^{-1}$ des composés d'arôme des jus de pomme de cajou obtenus par différents procédés

N°	Nom des composés d'arôme	Tr (min)	JB	JC	JEV 40	JEV 60	JEV 80
1	Ethanol	3,58	180	146	0	0	0
2	Butanoate d'éthyle	5,10	22	8	0	0	0
3	3-carène	7,35	33	1	0	0	0
4	Pentanoate de propyle	7,86	8	3	0	0	0
5	2-Buténoate d'éthyle	8,17	23	14	0	0	0
6	3-méthyl pentanoate d'éthyle	8,60	11	5	0	0	0
7	3-méthyl-1-butanol	10,04	36	40	0	0	0
8	2-méthyl-2-butenoate d'éthyle	10,61	79	35	0	0	0
9	Octanal	12,49	30	10	0	0	0
10	Cis-3-hexénol	16,47	22	21	0	0	0
11	3-Octanol	17,01	8	18	21	22	22
12	3-méthyl butanoate cis-3-hexenyle	20,45	42	2	0	0	0
13	Benzaldehyde	21,28	41	41	68	101	89
14	2-hydroxy-4-methylpentaoate d'éthyle	21,47	422	512	0	0	0
15	Octanol	23,40	34	29	0	0	0
	Distance aromatique			JB-JC	JC-JEV 40	JC-JEV 60	JC-JEV 80
				121	457	460	459

Enfin, concernant la couleur, L'analyse des courbes de la figure 3 montre que le jus brut (JB) et le jus clarifié (JC) par microfiltration tangentielle, présentent des spectres très similaires. Par conséquent ils ont la même couleur. Il n'y a pas de formation de nouveaux composés colorés lors du procédé de clarification. Par contre, les jus concentrés, obtenus par évaporation sous vide à différentes températures, présentent une absorbance élevée entre 400 et 480 nm. Plus la température d'évaporation est haute plus l'absorbance est importante. Cette gamme de longueur d'ondes est caractéristique des composés issus de la réaction de Maillard. L'évaporation sous vide génère donc ces réactions de brunissement non enzymatique qui conduisent à la formation de mélanoidines, composés bruns foncés. Le jus de pommes de cajou étant riche en sucres réducteurs, ces sucres réagissent avec les acides aminés des protéines du jus lors du traitement thermique et donnent des composés colorés. Ces réactions sont nettement mises en évidence à partir de 60°C et semblent être déjà présentes à 40°C.

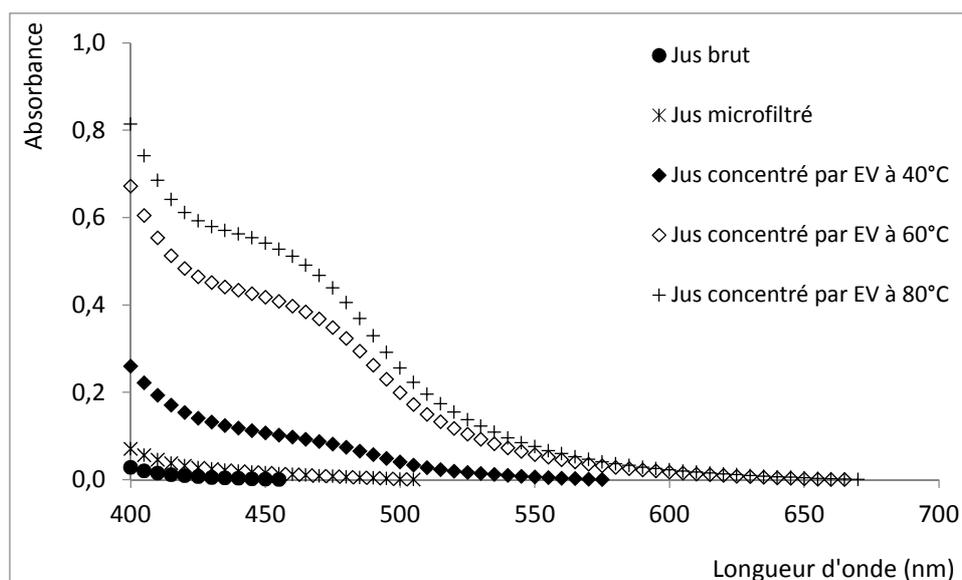


Fig. 4. Spectre d'absorption des différents jus de pommes de cajou (mesures réalisées après filtration sur membrane de 0,45 μm et après redilution au même extrait sec soluble)

4 CONCLUSION

En initiant ce travail, l'objectif était de s'assurer si la valorisation de la pomme de cajou en jus était possible malgré son astringence. Les résultats montrent qu'elle peut être valorisée valablement en jus, pourvue que les procédés utilisés tiennent compte des contraintes de la matière première. La microfiltration tangentielle permet d'éliminer les tannins totaux sans altérer la valeur nutritionnelle. Cette élimination des tannins rend le jus moins astringent et par conséquent agréable à consommer. En revanche, les essais de microfiltration tangentielle doivent se faire en fermant le bac d'alimentation du pilote car l'incorporation continue de l'air entraîne une oxydation de la vitamine C du jus. Concernant l'évaporation sous vide, elle affecte la qualité nutritionnelle et particulièrement l'arôme, la couleur et la teneur en vitamine C quelle que soit la température. L'une des voies alternatives serait d'utiliser l'évaporation osmotique qui a l'avantage de se réaliser à froid.

En effet l'évaporation osmotique est un procédé membranaire développé principalement pour la concentration des liquides thermosensibles ([16], [21], [24], [27]). Son principal avantage est sa capacité à concentrer des solutions jusqu'à des teneurs en solutés très élevées (600 à 700 g.kg⁻¹ pour les jus de fruits) à faible température et faible pression. Cela garantit un minimum de dommages thermiques ou mécaniques du produit ([24], [27], [28], [29], [30], [31]). L'évaporation osmotique est un procédé particulièrement intéressant pour compléter ou remplacer d'autres procédés de concentration à basse température comme l'osmose inverse. Les applications industrielles du procédé d'évaporation osmotique concernent la concentration des jus de fruits. Ainsi, beaucoup d'études ont été réalisées pour optimiser les conditions opératoires du procédé en vue d'applications industrielles ([16], [17], [26], [27], [32], [33], [34], [35]). Généralement, les jus sont concentrés après avoir été clarifiés par filtration

Enfin, la valorisation de la pomme de cajou en jus, contribuera à stabiliser l'exploitation des anacardiens. Elle permettra également de créer de nouvelles activités économiques créatrices d'emplois et, par conséquent lutter contre le chômage en Côte d'Ivoire en particulier et de façon général dans les pays Africains producteurs de pomme de cajou.

REFERENCES

- [1] Anonyme, « Documents internes du conseil du Coton et de l'Anacarde de Côte d'Ivoire » ; *Ministère de l'Agriculture et du développement rural de la république de Côte d'Ivoire, Abidjan*, (2016)
- [2] Soro Doudjo, abreu Fernando, Assidjo Emmanuel, Yao Benjamin and Dornier Manuel, "The cashew (*Anacardium occidentale*) industry in côte d'ivoire: analysis and prospects for development" *Fruits*,. Vol 66 n°4, pp 237-245, 2011.
- [3] Oduwole, O.O; Akinwale, T.O. and Olubamiwa, O. "Economic evaluation of a locally fabricated extraction machine for a cottage cashew juice factory", *The Journal of Food Technology in Africa, Nairobi, Kenya*. Vol 6 n°1 pp18-20, 2001.
- [4] Zepka LQ and Mercadante AZ, "Degradation compounds of carotenoids formed during heating of a simulated cashew apple juice", *Food Chemistry* vol 117, pp 28-34, 2009
- [5] Honorato, T.L., M.C. Rabelo, L.R.B. Gonçalves, G.A.S. Pinto, and S. Rodrigues, "Fermentation of cashew apple juice to produce high added value products", *World Journal of Microbiology and Biotechnology* vol 23, pp 1409-1415, 2007
- [6] Azevedo, D.C.S., and A. Rodrigues, "Obtainment of high-fructose solutions from cashew (*Anacardium occidentale*) apple juice by simulated moving-bed chromatography", *Separation Science and Technology*, vol 35, pp 2561-2581, 2000
- [7] Inyang, U.E., and U.J. Abah, "Chemical composition and organoleptic evaluation of juice from steamed cashew apple blended with orange juice", *Plant Foods for Human Nutrition*, vol 50, pp 295-300, 1997
- [8] Rocha, M.V., M.C. Souza, S.C. Benedicto, M.S. Bezerra, G.R. Macedo, G.A. Pinto, and L.R. Gonçalves, "Production of biosurfactant by *Pseudomonas aeruginosa* grown on cashew apple juice", *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol 136 n° 140, pp 185-194, 2007.
- [9] Assunção, R. B. and A. Z. Mercadante, "Carotenoids and ascorbic acid composition from commercial products of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.)," *Journal of Food Composition and Analysis* vol 16 n°6, pp 647-657, 2003.
- [10] Michodjehoun-Mestres, L., J.-M. Souquet, H. Fulcrand, C. Bouchut, M. Reynes and J.-M. Brillouet, "Monomeric phenols of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.)," *Food Chemistry* vol 112 n°4, pp 851-857, 2009.
- [11] Rocha, M., T. Rodrigues, G. De Macedo, and L. Gonçalves, "Enzymatic hydrolysis and fermentation of pretreated cashew apple bagasse with alkali and diluted sulfuric acid for bioethanol production", *Applied Biochemistry and Biotechnology*, vol 155, pp 104-114, 2009a.
- [12] Rodrigues, M. R. C. ; Rondina, D. ; Araujo, A. A. ; Souza, A. L. ; Nunes-Pinheiro, D. C. ; Fernandes, A. A. O. ; Ibiapina, F. L., "Reproductive and metabolic responses of ewes fed dehydrated cashew apple bagasse during the postpartum period", *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, vol 63 n°1, pp 171-179, 2011.
- [13] Abreu, F., A. M. Perez, M. Dornier and M. Reynes, "Potentialités de la microfiltration tangentielle sur membranes minérales pour la clarification du jus de pomme de cajou", *Fruits*, vol 60, pp 33-40, 2005.

- [14] Almandoz, C., C. Pagliero, A. Ochoa and J. Marchese, "Corn syrup clarification by microfiltration with ceramic membranes", *Journal of Membrane Science* vol 363 n°1 et 2, pp 87-95, 2010.
- [15] Campos, D. C. P., A. S. Santos, D. B. Wolkoff, V. M. Matta, L. M. C. Cabral and S. Couri, "Cashew apple juice stabilization by microfiltration," *Desalination* vol 148 n°1 à 3, 61-65, 2002.
- [16] Cissé, M., F. Vaillant, D. Soro, M. Reynes and M. Dornier, "Crossflow microfiltration for the cold stabilization of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract," *Journal of Food Engineering* vol 106 n°1, pp 20-27, 2011.
- [17] Vaillant, F., A. Millan, M. Dornier, M. Decloux and M. Reynes, "Strategy for economical optimisation of the clarification of pulpy fruit juices using crossflow microfiltration", *Journal of Food Engineering*, vol 48 n°1, pp 83-90, 2001.
- [18] Matta, V. M., R. H. Moretti and L. M. C. Cabral, "Microfiltration and reverse osmosis for clarification and concentration of acerola juice." *Journal of Food Engineering*, vol 61, n°3, pp 477-482, 2004.
- [19] Laorko, A., Z. Li, S. Tongchitpakdee and W. Youravong, "Effect of gas sparging on flux enhancement and phytochemical properties of clarified pineapple juice by microfiltration," *Separation and Purification Technology* vol 80 n°3, pp 445-451, 2011.
- [20] Vincze, I., E. Bányai-Stefanovits and G. Vatai, "Concentration of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) juice with membrane separation", *Separation and Purification Technology*, vol 57, pp 455-460, 2007.
- [21] Alves, V. D. and I. M. Coelho, "Orange juice concentration by osmotic evaporation and membrane distillation: A comparative study," *Journal of Food Engineering*, vol 74 n°1 pp 125-133, 2006.
- [22] Cassano, A., B. Jiao and E. Drioli, "Production of concentrated kiwifruit juice by integrated membrane process," *Food Research International* vol 37, n°2, pp 139-148, 2004.
- [23] Cassano, A. and E. Drioli, "Concentration of clarified kiwifruit juice by osmotic distillation." *Journal of Food Engineering*, vol 79, n° 4, pp 1397-1404, 2007.
- [24] Cissé, M., F. Vaillant, S. Bouquet, D. Pallet, F. Lutin, M. Reynes and M. Dornier, "Athermal concentration by osmotic evaporation of roselle extract, apple and grape juices and impact on quality," *Innovative Food Science & Emerging Technologies* vol 12 n° 3, pp 352-360, 2011.
- [25] Koroknai, B., K. Kiss, L. Gubicza and K. Belafi-Bako, "Coupled operation of membrane distillation and osmotic evaporation in fruit juice concentration," *Desalination* vol 200, n° 1 à 3, 526-527, 2006.
- [26] Soro Doudjo, "Couplage des de procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pomme de cajou: performances et impacts sur la qualité des produits", *Thèse de doctorat du centre international d'études supérieures en sciences agronomiques spécialité génie des procédés*, 156 p, soutenue à Montpellier SupAgro le 17 décembre 2012.
- [27] Vaillant, F., M. Cisse, M. Chaverri, A. Perez, M. Dornier, F. Viquez and C. Dhuique-Mayer, "Clarification and concentration of melon juice using membrane processes," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol 6, n° 2, pp 213-220, 2005.
- [28] Vaillant Fabrice, "Clarification et concentration de jus de fruits tropicaux pulpeux associant traitements enzymatiques, microfiltration tangentielle et évaporation osmotique". *Génie des procédés*, Montpellier, Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires, Doctorat: 247 pages, 2000.
- [29] Ali, F., M. Dornier, A. Duquenoy and M. Reynes, "Evaluating transfers of aroma compounds during the concentration of sucrose solutions by osmotic distillation in a batch-type pilot plant." *Journal of Food Engineering* vol 60, n°1, pp1-8, 2003.
- [30] Cissé Mady, "Stabilisation, microfiltration tangentielle et concentration de différents jus de fruits tropicaux," *Sciences et technologie des aliments*, Dakar, Université cheick Anta Diop. Thèse de Doctorat: 209 pages, 2007.
- [31] Cissé Mady, "Couplage des procédés membranaires pour la production d'extraits anthocyaniques: application à *Hibiscus sabdariffa*," *UMR-Qualisud*, Montpellier SupAgro, Thèse de Doctorat, 201 pages. 2010.
- [32] Valdés, H., J. Romero, A. Saavedra, A. Plaza and V. Bubnovich, "Concentration of noni juice by means of osmotic distillation" *Journal of Membrane Science* vol 330 n° 1 à 2, pp 205-213, 2009.
- [33] Tomaszewska, M., M. Gryta and A. W. Morawski, "Study on the concentration of acids by membrane distillation," *Journal of Membrane Science*, vol 102, pp 113-122, 1995.
- [34] Shaw, P. E., M. Lebrun, M. Dornier, M. N. Ducamp, M. Courel and M. Reynes, "Evaluation of Concentrated Orange and Passionfruit Juices Prepared by Osmotic Evaporation," *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* vol 34 n° 2, pp 60-65, 2001.
- [35] Bánvölgyi, S., S. Horváth, E. Békássy-Molnár and G. Vatai, "Concentration of blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) juice with nanofiltration," *Desalination* vol 200 n° 1 à 3, pp 535-536, 2006.